

Zárójelentés
Evolúciós játékok statisztikus fizikája
OTKA K-47003 (2004-2007)

A kutatási program keretén belül evolúciós játékelméleti modelleket vizsgáltunk rácsokon és gráfokon. A matematikai modellek közös tulajdonsága, hogy egy rács vagy gráf pontjain elhelyezkedő játékosok nyereménye az élek által definiált szomszédoktól származik. A játékosok úgy próbálják meg elérni a maximális nyereményt, hogy időnként átveszik a sikerebb szomszéd stratégiáját. Ezek a modellek általános keretet adnak a sokszereplős közgazdasági vagy társadalmi jelenségek leírására, illetve a biológiai és ökológiai evolúciós folyamatok tanulmányozására attól függően hogy a „játékos” embert vagy embercsoportot illetve más biológiai élőlényt vagy akár fehérjemolekulát képvisel. A fizikusok megjelenését ezen a kutatási területen az indokolta, hogy a nem-egyensúlyi statisztikus fizikán belül kifejlesztett fogalmak és módszerek hatékonynak bizonyultak ezen modellek vizsgálatainál és továbbfejlesztéseinél illetve a jelenségek értelmezésénél.

Az evolúciós játékelmélet mélyebb megértése érdekében a témavezető Fáth Gáborral együtt egy terjedelmes összefoglaló cikk írására vállalkozott, ami 2007-ben a Physics Reportsban jelent meg. Ennek a munkának egyik fontos haszna abból származott, hogy teljes képet kaptunk erről a dinamikusan fejlődő interdiszciplináris területről. A fogalmak és eredmények rendszerezése során rengeteg olyan jelenségre (illetve állításra) bukkantunk, amelyek pontosításra szorultak. (Ennek eredménye volt például a „paritáseffektus” pontosítása, ami a ciklikus ragadozó-zsákmány modelleknél jelenik meg, ha megengedjük az inváziós ráták különbözőségét.) Továbbá, ez az összefoglaló munka képezi az alapját (és „tankönyvét”) annak az „Evolúciós játékelmélet” című előadássorozatnak, amit a témavezető az ELTE és a BME hallgatói számára tart. Az evolúciós játékelmélet oktatásával kapcsolatos meghívások azonban nem korlátozódnak Magyarországra, mivel minden évben többórás előadássorozatot tartunk különböző nemzetközi nyári iskolákon.

Kutatásaink egyik legfontosabb területe az önzetlenség (tisztességes, vagy más szavakkal, a közösség érdekeit szolgáló magatartás) kialakulásának vizsgálata olyan helyzetekben, amikor az egyének közötti kölcsönhatásra jellemző a Fogolydilemma helyzet. A fizikai modellek nyelvén ez egy olyan sokszereplős modell vizsgálatát jelenti, ahol mindegyik szereplő két lehetőség között választ (önzetlenség vagy élszökés) és a játékosok

nyereményét önmaguk és társaik választása befolyásolja. A Fogolydilemma helyzet jellegzetessége, hogy kétszereplős egyszeri játék esetén mindkét önző játékos számára az a legjobb, ha az elősködést választja, ami viszont a közösség számára a legalacsonyabb össznyereményt biztosítja. Mindennek ellenére, ahogyan azt a korábbi vizsgálatok már igazolták, a térbeli modelleknél a stratégiaválasztást meghatározó evolúciós szabály segítheti az önzetlenség fennmaradását, ennek mértéke azonban függ a (gráffal jellemzett) kapcsolatrendszer topológiai tulajdonságaitól, az elősködésre csábító kísértés b mértékétől és a stratégia-átvételt meghatározó dinamikai szabálytól, ami a zaj K mértékét is magában foglalja. Többéves szisztematikus kutatással feltérképeztük az említett hatásokat olyan módon, hogy különböző reguláris kapcsolatrendszerek esetén meghatároztuk a b - K állapotábrákat, amelyek kijelölik azon paraméter tartományokat, ahol a stacionális állapotban minden játékos az önzetlenséget vagy elősködést választja, illetve ahol mindkét választás előfordulhat. Ezek a vizsgálatok tisztázták, hogy az alacsony zajú határesetben az önzetlenség fennmaradását segítheti a kapcsolatrendszer akkor, ha a megfelelő gráfot kifeszíthetjük átlapoló háromszögekkel. A jelenség hátterében az áll, hogy ezekben az esetekben a kapcsolatrendszer segíti az önzetlen magatartás elterjedését. Átlapoló háromszögek hiányában létezik egy optimális zajérték, ami legjobban segítheti az önzetlenség megmaradását. Vizsgálataink azt is megmutatták, hogy az erős zajú határesetben a hurokmentes kapcsolatrendszer a legelőnyösebb az önzetlenség fenntartása szempontjából. Ezeket az eredményeket Monte Carlo szimulációval értük el, de mindegyiket sikerült igazolni az átlagtér (illetve párközelítés) kiterjesztésével is. Néhány esetben ez az igazolás csak úgy vált lehetségessé, ha a stratégiakonfigurációk valószínűségét akkora rácspont-fürtökön is meghatároztuk, amire korábban nem volt példa más modelleknél.

Az analitikus módszerek alkalmazása miatt a fenti vizsgálataink olyan (reguláris) kapcsolatrendszerekre vonatkoztak, ahol a játékosok azonos számú szomszédal (partnerrel) rendelkeztek. A társadalmi jelenségek valósághűbb leírása azonban megkövetelte, hogy ezeket az elemzéseket kiterjesszük nem-reguláris kapcsolatrendszerekre is. 2005 nyarán portugál kutatók megmutatták, hogy skálamentes gráfokon bizonyos evolúciós szabály esetén tetszőleges magas kísértés (b) esetén is az önzetlenség lesz az uralkodó magatartás. Ennek oka, hogy a nagy szomszédszámú játékosok stratégiáját környezetük átveszi, ami növeli az önzetlenek nyereményét és ugyanakkor csökkenti az elősködőkét. Így ebben a rendszerben az önzetlenség válik a legsikeresebb viselkedéssé, ami elterjedhet, ha a sok szomszédal rendelkező játékosok között is van ritka kapcsolat. Sikerült igazolnunk, hogy ugyanez a hatás

(bár kisebb mértékben) akkor is kimutatható, ha játékosaink különböző mértékű stratégia-átadó (meggyőző) képességgel rendelkeznek. Jelenlegi vizsgálatainkban is azt kutatjuk, hogy miképpen fokozható ez a jótékony hatás a közösség javára.

A ciklikus dominancia következményeinek tanulmányozását egy olyan evolúciós Fogolydilemma játék indította el, ahol három stratégia „körbeveri” egymást. Ezt a helyzetet legegyszerűbben a Kő-Papír-Olló játékok, vagy más néven a ciklikus ragadozó zsákmány modellek írják le. A modell egyszerűsítésével pontosabb képet alkothattunk arról, hogy a kapcsolatrendszer topológiai tulajdonságai miképpen befolyásolják a kialakuló stacionális állapotot. Megmutattuk, hogy térbeli modelleknél egy önszervező mintázat alakul ki, aminek állandóságát az inváziós frontok mozgása biztosítja. Ugyanez a modell növekvő amplitúdójú globális oszcillálást mutat a Bethe rácson és végezetül a rendszer fejlődése megáll valamelyik homogén végállapotban, ha a szomszédok száma nem kisebb hatnál. Az oszcillálás amplitúdója állandósul (más szóval határciklus figyelhető meg) a Bethe rácson, ha a szomszédok száma három vagy négy. Ha ezt a modellt egy egyszerű „kisvilág hálózaton” vizsgáljuk, akkor mindhárom viselkedés kialakulhat és folytonos átmeneteket figyelhetünk meg, ha folyamatosan hangoljuk a kapcsolatrendszer paraméterét.

A fajok számának növelését a térbeli ragadozó-zsákmány modellekben és a ciklusokat tartalmazó táplálék-háló következményeinek kutatását az indokolta, hogy ezek a modellek elvileg végtelenül sok megoldással rendelkeznek, és ezen megoldások létezését a kisméretű rendszeren végzett numerikus szimulációk igazolták is. Ezzel szemben a nagyméretű rendszeren az evolúciós folyamat végeredményét néhány olyan társulás versengése határozza meg, amely sajátos összetétellel és térbeli szerkezettel rendelkezik. A hosszú idejű versengés választja ki a legstabilabb képződményeket illetve társulásokat. Megmutattuk, hogy a térbeli keveredés lehetőségének bevezetésével és erősségének hangolásával befolyásolhatjuk a társulások egymáshoz viszonyított stabilitását és ezzel együtt a kialakuló végállapotot is. Első vizsgálatainkban az inváziós ráták azonosak voltak. A különbözőség bevezetése egyrészt megmutatta a korábbi jelenségek robusztus mivoltát, másrészt felszínre hozott olyan mintázatképződési jelenségeket is, amelyekre korábban nem is gondoltunk. Például, több modellben is megfigyeltük egy társulás spontán kialakulását illetve újjászületését korábbi hamvaiból. Ezek a modellek hívták fel figyelmünket arra, hogy teljesen különböző jelenségek lehetnek az önszerveződés hátterében. Az egyik ragadozó-zsákmány modellben például a doménnövekedés leáll, aminek valószínű oka, hogy elegendően nagy

doménméretek esetén már a határréteg szerkezete is megváltozik, más szóval stabilabbá válik, és a rendszer viselkedése emlékeztet a víz-olaj emulziókra.

A fenti jelenségeken túl, a játékelméleti módszereket használva vizsgáltuk a nyelvi jelentés kialakulásának lehetséges mechanizmusait egy heterogén kölcsönható populációban. Modellünkben a szereplők véges számú optimálisan bevezetett koncepció segítségével próbálják meg leírni a komplex valóságot. A fogalmak jelentése kollektíven, egy evolúciós játék keretében alakul ki, melyben az egyéni döntési alternatívák optimális értékelése a fogalmak személyre szabott torzítását, míg az egymás közötti sikeres kommunikáció igénye a fogalmak koherenciáját részesíti előnyben. A kvantitatív leírás szintjén a kidolgozott modell ekvivalens az erősen korrelált kvantum rendszerek vizsgálatában alkalmazott sűrűségmátrix renormálási módszer (DMRG) matematikai megfogalmazásával. Azt találtuk, hogy a bevezetett evolúciós dinamika szükségszerűen egy fixponthoz konvergál, mely értelmezésünkben egy játékelméleti Nash egyensúly. Többféle fixpont lehetséges azonban, különböző mértékű társadalmi koherenciaszinttel („rendezett” ill. „rendezetlen” fázisok), melyek leírására egy tenzor rendparamétert vezettünk be. Modellünk egyrészt magyarázattal szolgál arra, hogy hogyan jönnek létre és hogyan létezhetnek egymás mellett stabilan különböző kultúrák, kulturális domének, ill. bizonyos alapvető paraméterek lassú változása hogyan vezethet a rendszerben hirtelen fázisátalakuláshoz, melynek során a társadalomban a kultúra szerepe és jelentősége drasztikusan megváltozik. Úgy gondoljuk, hogy a mintegy 50 000 évvel ezelőtt lezajlott „kulturális robbanás” is egy ilyen fázisátalakulásként értelmezhető.

A kapott pénzügyi támogatás legnagyobb részét számítógépeink frissítésére és konferencia részvételre költöttük, de jutott a támogatásból irodaszerekre, könyvekre és egyéb szolgáltatási kiadásokra. Az utolsó évben Fáth Gábor utazási keretéből PhD diákunk, Vukov Jeromos utazott el egy konferenciára.

Az említett kutatások egy részét külföldi és hazai munkatársakkal együttműködve végeztük. A nyelvi fogalmak fejlődésének tanulmányozásában Fáth Gábor Sallay Miklóssal dolgozott együtt. A biológiai modellek kutatásában társaink voltak az ELTE biológusai (név szerint: Oborny Beáta, Meszéna Géza, Czárán Tamás és Szabó Péter). Vukov Jeromos (ELTE, PhD hallgató) kutatásai is ezen feladatokhoz kötődtek. Az együttműködést kezdeményező Matjaz Perc (Maribor University) két-három évvel ezelőtt vált rabjává a fenti témáknak.

A négy év alatt elért eredményeinket 25 cikkben publikáltuk, amelyekre ez idáig több, mint 150 hivatkozás érkezett. A cikkek letölthetők a résztvevők honlapjáról

Szabó György: <http://www.mfa.kfki.hu/~szabo/>

Szolnoki Attila: <http://www.mfa.kfki.hu/~szolnoki/>

Fáth Gábor: <http://www.szfkf.hu/~fath/>

Budapest, 2008. február 25.

Szabó György
MTA MFA